

Mildiou de la vigne :

La viticulture raisonnée a-t-elle vraiment tout faux ?

Annexe Scientifique

Ce document détaille l'argumentation scientifique qui nous conduit à relativiser certains résultats de la thèse de la thèse de M. Chen (dirigée par D. Makowski) « Analyse du risque de mildiou de la vigne dans le Bordelais à partir de données régionales et d'informations locales collectées en cours de saison »

Le développement du mildiou de la vigne en Aquitaine : des épidémies plus lentes qu'on ne le croit généralement

La thèse commence par une étude sur les observations mildiou des BSV Aquitaine-Nord de 2010 à 2017 (chapitre 4).

Sur cette période, les dates des premières observations de symptômes de mildiou sur feuilles, sur les parcelles non traitées variaient suivant les années, entre le 3 mai et le 30 mai pour les symptômes sur feuilles:

Date d'apparition des symptômes sur parcelles non traitées	2010 (19)	2011 (18)	2012 (20)	2013 (21)	2014 (18)	2015 (20)	2016 (19)	2017 (22)	2018 (18)	Moyenne (20)
Feuilles	11-mai	03-mai	15-mai	22-mai	29-avr	11-mai	09-mai	30-mai	07-mai	11-mai
Grappes	08-juin	10-mai	30-mai	11-juin	03-juin	13-mai	23-mai	06-juin	22-mai	27-mai

Source : Bilan 2019 des BSV Nord Aquitaine¹. Pour faciliter la comparaison avec les résultats de la thèse, nous avons ajouté entre parenthèses sous chaque année la semaine calendaire de la date d'apparition des premiers symptômes sur feuilles. Les années à mildiou précoce sont surlignées en rouge, les années tardives en vert.

Ces dates d'apparition des premiers symptômes dans le Bordelais sont annoncées très clairement dans les BSV. Mais, dans les semaines qui suivent, il est plus difficile de percevoir clairement à quelle vitesse la maladie gagne des autres parcelles du réseau. M. Chen est donc repartie des données complètes d'observations, et elle a comparé différentes méthodes pour réaliser des courbes de survie à partir de ces observations hebdomadaires, c'est-à-dire les courbes retraçant l'évolution dans le temps du pourcentage de parcelles sans symptômes. Elle parvient ainsi au résultat suivant :

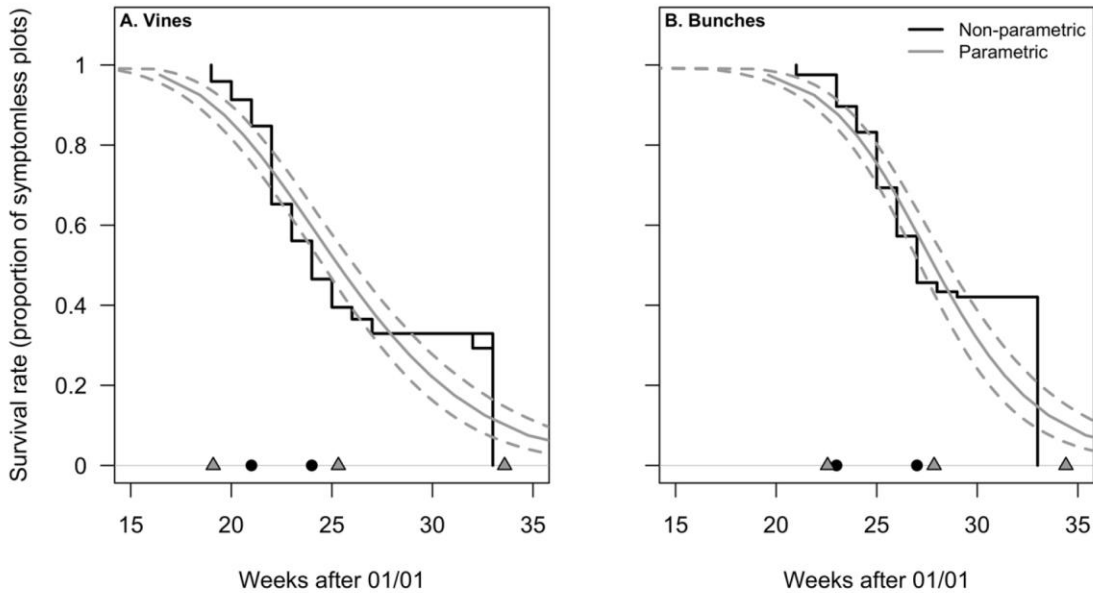


Figure 4.2: Proportions of plots with symptomless vines (A) and bunches (B) estimated by non-parametric and parametric (log-normal model) survival analysis methods, over the period 2010-2017. Black and gray circles at the base of the graph indicate the estimated dates at which the proportion of symptomless plots decreased to 90%, 50%, and 10%, for the NPLME and loglogistic models, respectively. With non-parametric methods (i.e., NPLME method), the 10% level was never reached. Dashed lines indicate 95% confidence intervals.

- **Les résultats majeurs :**

Sur ces courbes de survie modélisées, on voit que l'épidémie ne progresse pas aussi rapidement que l'on pourrait le croire. Contrairement aux idées reçues sur la rapidité de développement du mildiou, le seuil de 50% de parcelles avec symptômes sur feuilles n'est atteint que vers la mi-juin (semaine 24 ou 25 selon le modèle retenu), soit un mois après l'apparition dans les premières parcelles atteintes. Et, même dans ce vignoble réputé très exposé au mildiou, il reste une proportion non négligeable de parcelles indemnes en fin de suivi, vers la mi-août.

C'est ce résultat qui amène aux questions de recherche suivantes de la thèse :

- ✓ les avis d'experts reflètent-ils bien cette dynamique relativement lente ?
- ✓ Si ce n'est pas le cas, quel peut être l'impact de leurs erreurs d'appréciation sur le nombre de traitements réalisés ?

- **Les questions en suspens :**

- ✓ il y a des écarts importants entre les différentes méthodes de modélisation testées par l'auteur : par exemple, pour les symptômes sur feuilles, il y a deux semaines d'écart entre les modèles pour l'atteinte du seuil de 10% de parcelles atteintes : semaine 19 pour la méthode log-logistique (en gris), semaine 21 pour la méthode non paramétrique (en noir). Pour le seuil de 90% de parcelles avec symptômes sur feuilles, la différence est encore plus radicale, puisque ce seuil est dépassé en semaine 34 pour la méthode log-logistique, et jamais atteint avec la méthode non-paramétrique. **Il serait donc important de préciser quel modèle est le plus en accord avec les observations de terrain, or nous n'avons jamais la comparaison entre les courbes de survie modélisées et les courbes de survie basées sur les données d'observations réelles.**

- ✓ Les courbes de survie présentées dans ce chapitre sont presque toutes des courbes globales, agrégeant les données de 2010 à 2017. Elles masquent donc les différences interannuelles de dynamique du mildiou, qui semblent pourtant très marquées : en glanant les quelques exemples de courbes annuelles disséminées dans les différents chapitres de résultats, on constate que les phénomènes de dynamiques lentes du mildiou ne concernent qu'une minorité d'années. La Figure 3.6 montre que l'année 2010 était bien une année à dynamique épidémique lente, contrairement à 2018 :

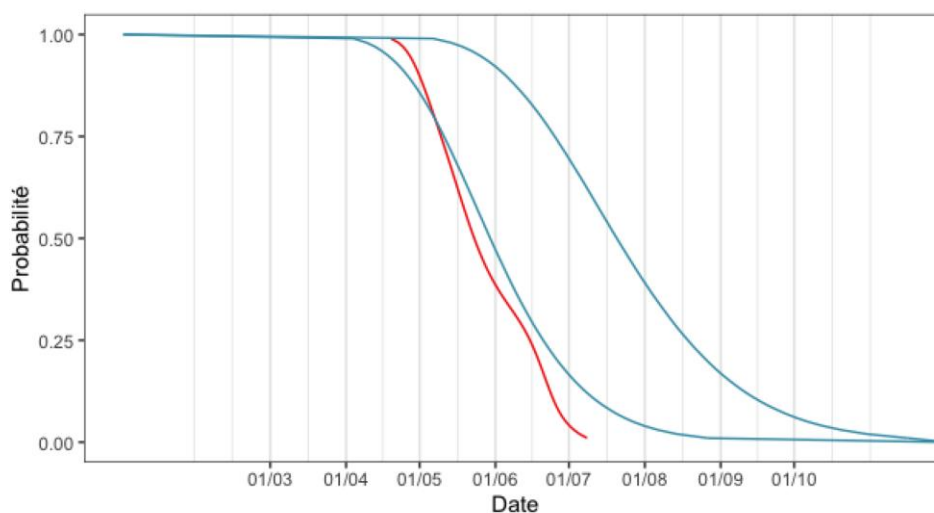


Figure 3.6 : Evolution de la probabilité qu'une parcelle reste saine au cours du temps dans la région de Bordeaux ; la couleur de la courbe représente la méthode d'estimation de la probabilité. La courbe rouge représente l'estimation issue de la moyenne des derniers pronostics des experts de la région de Bordeaux. Les courbes bleues représentent la probabilité issue des analyses des observations des témoins non traités réalisées en 2010 (courbe supérieure) et 2018 (courbe inférieure).

Le graphe 5.5 (cf plus bas) montre qu'en 2017 l'extension de l'épidémie a été encore beaucoup plus explosive, avec une apparition des premiers symptômes tout début juin, et 90% de parcelles atteintes le 14 juin.

Pour les autres années, nous n'avons pas de courbe de survie individuelle. Seuls les tableaux 4.1 et 4.2, qui donnent les paramètres des modèles pour chaque année, permettent de se faire une idée du profil de chaque année :

Table 4.2: Estimated parameters, exponential values for estimates, standard errors, and p values for each of the years surveyed (2010 to 2017) for parametric models (log-normal models). Each estimate corresponds to the difference in the rate of GDM appearance on vines or bunches between years relative to 2010.

	Vines				Bunches			
	Estimate	Exp(Est)	SE	p	Estimate	Exp(Est)	SE	p
2010	3.228	25.230	0.014	0	3.329	27.900	0.012	0
2011	-0.010	0.990	0.063	0.870	0.092	1.096	0.052	0.078
2012	-0.127	0.881	0.057	0.026	-0.059	0.942	0.044	0.180
2013	-0.147	0.864	0.061	0.016	-0.081	0.922	0.047	0.086
2014	-0.277	0.758	0.066	<0.001	-0.116	0.890	0.050	0.020
2015	-0.275	0.759	0.066	<0.001	-0.154	0.858	0.053	0.004
2016	-0.037	0.964	0.062	0.547	0.051	1.052	0.049	0.303
2017	-0.203	0.816	0.066	0.002	-0.053	0.949	0.051	0.306
Scale	-1.658	0.191	0.073	0	-1.976	0.139	0.078	0

Il en ressort que le phénomène de dynamique lente de mildiou, mis en évidence dans ce chapitre, n'a clairement concerné que 3 années (2010, 2011 et 2016). Pour d'autres années (au moins 2014, 2015, 2017 et 2018), l'épidémie de mildiou s'est

développée très rapidement et n'a laissé aucune parcelle indemne. Les courbes de 2012 et 2013 ont des paramètres intermédiaires, il est difficile de savoir dans quelle mesure, mais elles sont en tout cas très significativement différentes de celle de 2010.

Les comparaisons entre courbes de survie, prévisions de experts, et pratiques des viticulteurs, n'ont donc de sens que si elles s'appliquent aux mêmes années. Or ce ne sera pas toujours le cas dans la suite de la thèse.

Chapitre 5 : Des experts trop en avance sur le mildiou ?

Dans son chapitre 5, M. Chen explique ensuite comment elle a analysé les pronostics d'experts (viticulteurs, et acteurs du développement viticole ou de la recherche) sur la date probable d'apparition des symptômes de mildiou, qui est la date butoir avant laquelle les premiers traitements doivent être réalisés. Elle a utilisé pour cela la méthode de l'élicitation probabiliste, dans laquelle on pose à des experts d'un domaine une question se prêtant à une réponse quantifiable, tout en leur permettant d'évaluer eux-mêmes l'incertitude associée à leur réponse. Elle a ensuite calculé le nombre de traitements qui aurait découlé des pronostics des experts, en supposant que les viticulteurs appliquent leur 1^{er} traitement à la date d'apparition des symptômes prévus, et elle l'a comparé au nombre de traitements qui auraient été nécessaires en démarrant à la date réelle d'apparition des symptômes. L'étude a été réalisée en 2017 et 2018. Dans ce chapitre, les prévisions de chaque expert ont été comparées à la date réelle d'apparition des symptômes sur une parcelle identifiée à l'avance.

- **Les résultats majeurs :**

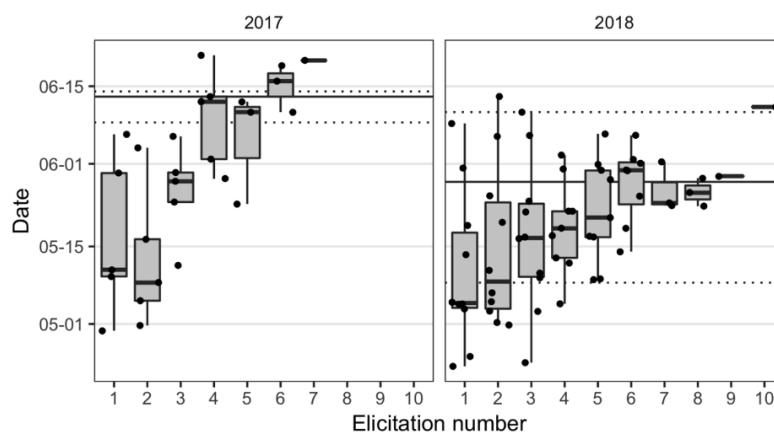


Figure 5.5: Elicited median dates of onset for each experts' elicitation throughout the growing season (1 = first elicitation, 2 = second elicitation, etc.) in 2017 and 2018. Each dot indicates an elicited median date obtained with one expert. The distributions of the elicited median dates are described by boxplots (minimum, 1st quartile, median, 3rd quartile, maximum). The plain lines represent the medians of observed GDM onset dates in 2017 and 2018, while the dashed lines represent the 5th and the 90th percentiles of these observations. In 2017 in the Bordeaux region, budburst and flowering stages were observed on April 5th and May 30th (Chambre d'Agriculture de Gironde, 2017), respectively. In 2018, budburst and flowering were observed on April 5th and June 5th, respectively (Chambre d'Agriculture de Gironde, 2018b).

- ✓ En début de saison, les experts ont eu tendance à prévoir une date d'apparition des symptômes plus précoce que dans la réalité : l'écart médian entre date prévue et observée était de plus d'un mois à la première élicitation en 2017, et 3 semaines environ en 2018. Cet écart diminue progressivement à mesure que le printemps avance, et les dernières élicitations des experts donnent le plus souvent des résultats corrects.

- ✓ En 2017, 8 traitements anti-mildiou auraient été appliqués en moyenne, en se basant sur la 1^{ère} élicitation, alors que 5,6 traitements seulement étaient nécessaires, d'après la date réelle d'apparition des symptômes. En 2018, 8,5 traitements contre 6,8 respectivement.
- **Les questions en suspens :**
 - ✓ La date d'apparition moyenne du mildiou est à la mi-mai. Le mois d'avril, et le début du mois de mai, sont donc déterminants pour le démarrage de l'épidémie. 2017 et 2018 sont deux années où le climat du mois d'avril a freiné le développement du mildiou. Il est donc normal qu'en mars ou en début avril, les experts aient anticipé une date d'apparition des symptômes plus proche de la moyenne que dans la réalité. **Rien ne prouve que cette erreur d'estimation se produit tous les ans, il est même probable que, sur les années à mois d'avril doux et humide, les experts feraient une « erreur » en sens inverse, c'est-à-dire que lors des premières élicitations ils prévoiraient une sortie plus tardive que dans la réalité.**
 - ✓ Les experts n'ont jamais été interrogés sur la date à laquelle ils auraient réellement appliqué ou conseillé un traitement. Ce ne serait sans doute pas arrivé aux premières élicitations, qui ont été réalisées à un moment où aucun traitement n'était envisageable pour un expert. Pour prendre un exemple, lors de la 1^{ère} élicitation de 2017, les experts prévoyaient une apparition médiane des symptômes vers le 12 mai, donc plus d'un mois trop tôt. Mais cette « erreur » (tout-à-fait normale vu les informations qu'ils avaient à l'époque) ne risquait pas d'entraîner des traitements inutiles, puisque nous n'étions que début mars. En pratique, avec les raisonnements préventifs actuels, les traitements doivent être décidés environ 15 jours avant la date d'apparition des symptômes, la durée d'incubation étant de l'ordre de 12 jours en début de saison. **Si on se base sur l'hypothèse plus réaliste où seules les prévisions réalisées à mi-avril peuvent déclencher un traitement, aucun traitement inutile n'aurait été réalisé en se basant sur les avis d'experts en 2017. En 2018, seules les élicitations réalisées pendant la 2^{ème} quinzaine d'avril pouvaient, pour certaines, inciter à un traitement prématuré.** Cela n'aurait eu qu'un faible impact sur le nombre de traitements réalisés, car, après un « faux départ » fin avril, l'année 2018 a été une année à pression historiquement forte de mildiou.

Chapitre 6 : 56% de traitements anti-mildiou trop précoces : comment arrive-t-on à ce résultat ?

Après ces premiers chapitres à dominante méthodologique, les travaux passent ensuite à une étape plus appliquée dans le chapitre 6, qui traite de 3 questions :

- ✓ Comment se positionne la distribution des dates de premiers traitements anti-mildiou pratiqués par les viticulteurs, par rapport à la distribution des dates d'apparition de la maladie dans les vignobles bordelais ?
- ✓ Quel est l'impact d'un report de la date de la première intervention anti-mildiou à la date d'apparition de la maladie sur le nombre de traitements ?

- ✓ Quel est l'impact de cette stratégie sur l'exposition des opérateurs, c'est-à-dire les personnes en charge des traitements ?

Pour répondre à ces questions, la doctorante a d'abord comparé les dates de 1^{er} traitement mildiou observées dans deux enquêtes sur les pratiques des viticulteurs, avec les courbes de survie sur l'apparition des symptômes sur feuille, ainsi que la prévision des experts pour cette même date d'apparition. Elle a ensuite calculé le nombre théorique de traitements qui en résulterait, en supposant que les viticulteurs renouvellent leurs traitements à cadence fixe (une semaine sur 2, 7 traitements/10 semaines, ou 1 fois par semaine) après la 1^{ère} application, jusqu'à la fin de la période de risque (fixée à la semaine 33). Elle a enfin estimé l'exposition aux pesticides qui en résulte, en fonction des équipements de protection individuels (EPI) qu'ils portent (ou non).

- **Les résultats majeurs :**

- ✓ Pour les dates de traitement :

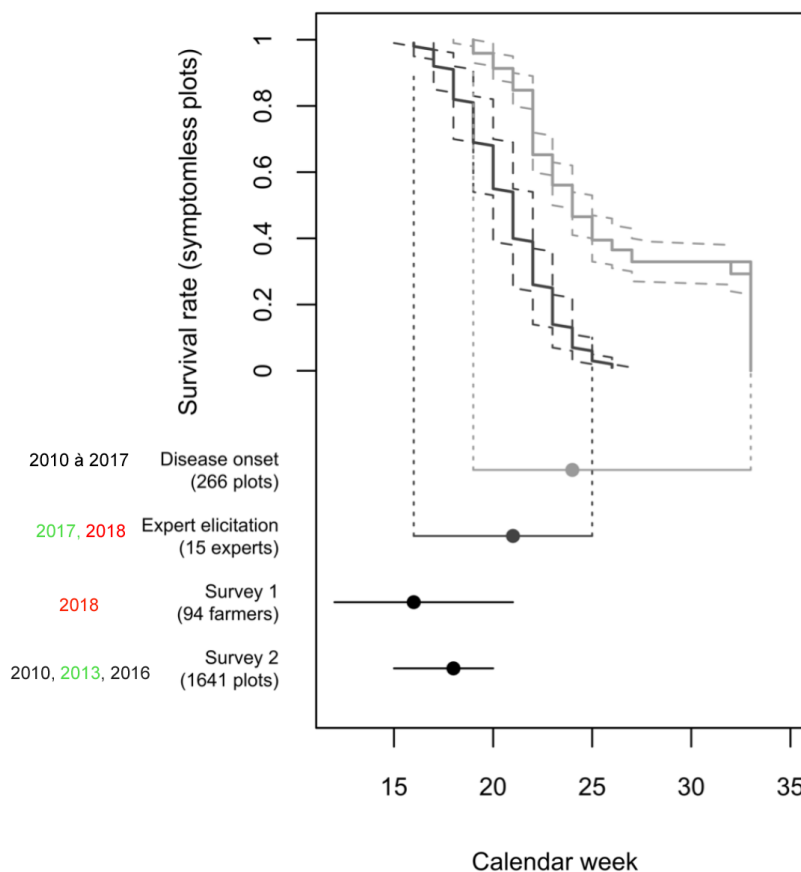


Figure 6.1: Proportions of symptomless plots according to expert opinion or based on observed symptoms (decreasing survival curves in plain lines with 95% confidence intervals in dashed lines). Horizontal bars represent the 2.5% and 97.5% quantiles computed from each distribution and points correspond to medians, from top to bottom: dates of onset of the first GDM symptoms based on observed plots (light grey) and on expert elicitations (dark grey), first GDM fungicide spraying dates according to two surveys, IFV and SSP surveys (in black).

La distribution des dates d'évènements qui vont être utilisées dans ce chapitre est représentée dans le graphe 6.1 ci-dessus. Pour faciliter l'analyse des résultats, nous avons ajouté pour chaque type d'évènement les années de référence utilisées, avec le code couleur utilisé plus haut (rouge pour les années à mildiou précoce, vert pour les années à mildiou tardif, noir pour les années intermédiaires).

- La date médiane réelle d'apparition des symptômes de mildiou (disease onset) était en semaine 24 (résultat déjà vu au chapitre 4)
- La date médiane d'apparition des symptômes, tels que les prévoient les experts, est en semaine 21, soit 3 semaines d'avance par rapport à la référence retenue. Dans ce chapitre, il s'agit des élicitations réalisées entre le 15 avril et le 15 mai, contrairement au chapitre 4 où les élicitations commençaient début mars en 2017, et début avril en 2018.
- Les applications d'anti-mildiou commencent très tôt, et très longtemps avant l'apparition des symptômes sur le terrain : 6 semaines avant, dans les enquêtes sur les pratiques culturales réalisées par le Ministère de l'Agriculture en 2010, 2013, et 2016 (Survey2). 8 semaines avant dans l'enquête réalisée par l'IFV en 2018 (Survey 1). Ce constat sur les dates de 1^{er} traitement est l'enseignement majeur de la thèse, avec la lenteur de la dynamique de mildiou présentée au chapitre 4. En effet, même si on se place dans le cadre du raisonnement préventif qui fait foi actuellement, les 1ers traitements devraient avoir lieu deux semaines environ avant la date d'apparition des symptômes. Des écarts de 6 à 8 semaines sont donc totalement incohérents avec les règles de bonne pratique.

✓ Pour le nombre de traitements appliqués :

Les viticulteurs ont appliqué en moyenne 7,8 traitements anti-mildiou dans les enquêtes Pratiques Culturales de 2010, 2013 et 2016, et 8,5 dans l'enquête 2018 de l'IFV.

S'ils avaient suivi la stratégie proposée par l'auteur, c'est-à-dire appliquer le 1^{er} traitement au moment de l'apparition des symptômes, et renouvelé ensuite la protection toutes les deux semaines (stratégie $F=1/2$ dans le graphe ci-dessous), ils n'auraient appliqué en moyenne que 3,4 traitements (d'où la réduction de 56%). S'ils s'étaient basés sur la prévision des experts, cette réduction n'aurait été que de 22,7%, ils auraient donc pratiqué 6 traitements environ.

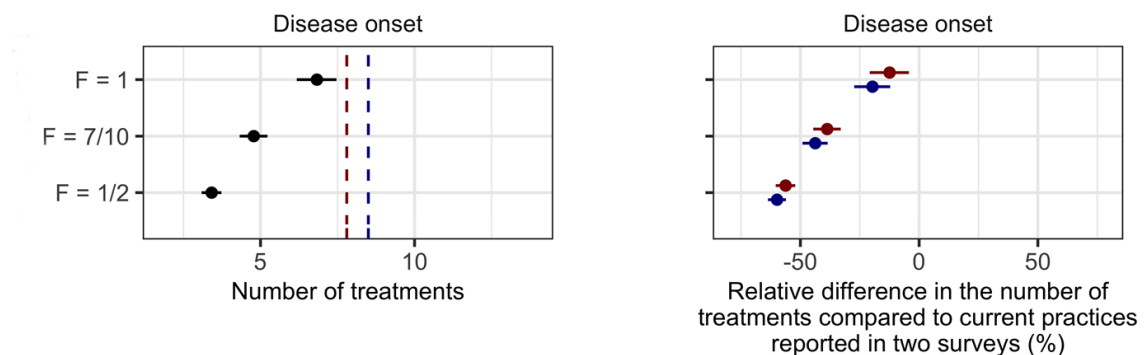


Figure 6.2: A: Number of anti-GDM fungicide sprays for different strategies to trigger the first fungicide application (based on expert elicitation or on observed dates of disease onset) and different treatment frequencies ($F=1$, i.e., one treatment per week, $F=7/10$, i.e., seven treatments every 10 weeks or one treatment every 10 days, $F=1/2$, i.e., 1 treatment every two weeks). Vertical lines represent the numbers of fungicide applications corresponding to current farmers' practices according to the IFV survey (in blue) and SSP survey (in red). B: Same results expressed as relative differences in the number of fungicide applications (%) for different strategies to trigger the first fungicide application (based on expert elicitation or on observed dates of disease onset) and different treatment frequencies compared to current farmers' practices according to the IFV survey (in blue) and SSP survey (in red). Horizontal lines represent 95% confidence intervals in both panels.

- **Les questions en suspens :**

- ✓ On compare ici des jeux de données sur des événements (dates des 1ers traitements, prévisions des experts, et disease onset observé sur le terrain) qui n'ont été acquis ni aux mêmes endroits, ni les mêmes années (cf années de référence indiquées en marge de la fig 6.1 ci-dessus). Par exemple, les prévisions d'experts ont été acquises pour moitié en 2018, année pour laquelle les courbes de survie du disease onset n'ont pas été utilisées dans ce chapitre. A l'inverse, les courbes de disease onset utilisées dans ce chapitre comprennent les années 2011, 2012, 2014 et 2015, pour lesquelles nous n'avons ni données sur les traitements des viticulteurs, ni sur prévisions des experts. **Comme nous sommes dans une démarche probabiliste, ce n'est pas forcément très gênant, à condition toutefois que nous ayons des données suffisamment massives (Big Data) pour chaque événement, que ces effectifs soient proches pour tous les événements, et que leurs distributions géographiques soient comparables. Ce n'est manifestement pas le cas ici :** pour chaque année de référence, nous avons un peu plus de 400 dates de 1^{er} traitement, environ 266 sites d'observations des symptômes, et seulement 15 prévisions d'experts. De plus, rien n'indique que les sites où ont été acquises les données sur les traitements et les prévisions d'experts soient à peu près équirépartis sur les sites d'observation de symptômes. Il est donc possible que les comparaisons faites dans ce chapitre soient impactées par des biais d'échantillonnage. C'est invérifiable pour les données sur les traitements. Par contre, ce biais apparaît très clairement pour les prévisions d'experts, par comparaison avec le chapitre 5 (cf point suivant).
- ✓ Dans le chapitre 5, les prédictions des experts étaient comparées aux observations sur les parcelles pour lesquelles ils avaient fait leur prévision. Le biais d'échantillonnage potentiel, évoqué au point précédent, n'existait donc pas. Or ce chapitre 5 avait montré que, pour les sites suivis par les experts, le seuil de 90% de parcelles avec symptômes était atteint le 14 juin en 2017, et le 12 juin en 2018 (graphique 5.5 de la thèse). Dans la courbe de survie du disease onset utilisée au chapitre 6, ce seuil de 90% n'est pas atteint avant le mois d'août. **Cette distribution des dates de disease onset n'est donc pas du tout représentative des parcelles sur lesquelles les experts s'étaient prononcés. Par contre, on constate que la courbe de survie des prévisions d'experts retenues dans ce chapitre (c'est-à-dire celles réalisées à partir du 15 avril) atteint le seuil de 90% en semaine 24, donc aux environs du 12 juin. Cela correspond parfaitement aux observations sur les parcelles qu'ils suivaient.** Il est donc clair que l'écart de 3 semaines, annoncé dans ce chapitre, entre les prévisions des experts et les observations de terrain, n'est qu'un artefact statistique. Ce biais est dû au fait que l'on a comparé les prévisions des experts à un jeu de données d'observations issus d'années et de lieux différents, avec des dynamiques de mildiou très différentes des années*sites sur lesquels les experts avaient été interrogés. Il en résulte aussi que les comparaisons entre le nombre de traitements qui auraient été conseillés par les experts, et ceux qui résultent de la stratégie de raisonnement proposée dans cette thèse, sont nulles et non avenues.
- ✓ Les dates de 1ers traitement anti-mildiou des viticulteurs posent un problème d'interprétation qui n'est évoqué nulle part dans la thèse : le vignoble bordelais est également exposé à l'excoriose, une maladie dont les contaminations se produisent

avant celles du mildiou (elles peuvent apparaître dès le débourrement). Or les produits autorisés contre cette maladie sont tous également autorisés sur mildiou. L'auteur n'explique nulle part comment les traitements excorioso ont été distingués des traitements mildiou (ni même si cette question a été traitée). Or les 1ers traitements considérés ici comme anti-mildiou démarrent dès la semaine 15 (aux environs du 8 avril), voire en semaine 12 (fin mars) dans l'enquête de 2018. Ces dates correspondent à celles du débourrement, **il est donc probable que la plupart (sinon la totalité) des traitements dirigés contre l'excorioso ont été comptabilisés comme des traitements anti-mildiou**. Cela fausse peu le nombre total de traitements appliqués, car en général les viticulteurs n'appliquent qu'un traitement contre l'excorioso. Mais cela peut fausser fortement la date de début de la protection, car il peut s'écouler un délai de plusieurs semaines entre ce traitement excorioso et le premier vrai traitement anti-mildiou.

- ✓ Plutôt que d'analyser uniquement le nombre de traitements pratiqués, il aurait été utile de quantifier la durée de protection totale que représentent leurs traitements. En effet, les viticulteurs alternent des produits dont la persistance d'action est de l'ordre de 15 jours, avec d'autres dont la durée d'action est plutôt de 10 jours, voire 7 pour les produits de contact. Une analyse de ce type aurait également permis d'apporter des indices sur la question de l'excorioso, en détectant les « trous » de protection qui séparent généralement les traitements excorioso des traitements mildiou.

Une stratégie de traitement innovante, mais validée où ?

Dans tous les chapitres portant sur le nombre de traitements appliqués, on compare les traitements réalisés actuellement à une stratégie curative, où l'on ne déclenche le premier traitement qu'à l'apparition des symptômes (et donc une douzaine de jours après les premières contaminations). Il va de soi que cette stratégie permettrait de retarder le 1^{er} traitement, et donc de réduire la durée de la période de protection. Mais il s'agit d'une stratégie de rupture, contraire aux recommandations actuelles de traitement préventif (et aux recommandations des fournisseurs de ces produits, ce qui posera inévitablement un problème de responsabilité en cas d'échec des traitements). Cette stratégie est-elle vraiment efficace ?

C'est seulement dans la discussion du chapitre 6 qu'est abordée cette question fondamentale pour tous les aspects appliqués de cette thèse. L'auteur admet que cette stratégie peut paraître risquée pour les viticulteurs, et devra être testée sur le terrain en étroite collaboration avec eux et avec les acteurs du développement agricole. Elle reconnaît aussi que les références scientifiques sur l'application de ce type de stratégie sont rares. Elle ne cite qu'une publication (avec deux essais de terrain seulement), supposée montrer que cette stratégie peut marcher². Or cette référence risque de ne pas rassurer les experts bordelais qui auraient la curiosité de la lire : il s'agit d'expérimentations réalisées en Italie, dans la région de Rome, donc avec un climat beaucoup moins favorable au mildiou qu'à Bordeaux. En particulier, les étés secs du climat méditerranéen permettent souvent de casser le cycle de multiplication d'infestations bien installées, ce qui est rare avec les étés aquitains. L'auteur fait valoir que dans ces deux essais l'incidence de la maladie (% de feuilles ou de grappes atteintes) sur les parcelles traitées à l'apparition de symptômes était significativement inférieure à celle du témoin non traité, et dans le même groupe statistique que la stratégie préventive classique. C'est vrai, mais les résultats sur la sévérité de la maladie (% de surface des feuilles ou des grappes atteintes) sont beaucoup moins flatteurs :

	2009		2010	
	Feuilles	Grappes	Feuilles	Grappes
Témon non traité	11,46 a	0,88 a	9,19 a	7,63 a
Stratégie classique	1,79 b	0,00 b	2,75 b	1,59 b
Stratégie "Traitement à l'apparition des symptômes"	2,08 ab	0,04 ab	4,41 ab	3,34 ab

Tableau 2 : Sévérité du mildiou en fin de saison (en % de surface atteinte), dans les deux expérimentations citées en référence pour justifier l'efficacité d'une stratégie de traitement démarrant à l'apparition des symptômes.

Malgré la faiblesse de l'infestation dans ces deux essais, l'efficacité de cette stratégie est à peine supérieure à 50%, avec des sévérités jamais différentes significativement du témoin non traité. Or c'est bien la sévérité qui est le bon indicateur de la nuisibilité de la maladie. Dans les essais phytosanitaires, une efficacité moyenne sur l'incidence, et insuffisante sur la sévérité, est d'ailleurs la signature caractéristique des stratégies de traitement déclenchées trop tardivement avec des produits préventifs : les traitements ont réussi à freiner un peu la transmission de la maladie d'un organe à l'autre, mais pas à empêcher l'envahissement des organes touchés... qui deviennent de ce fait des foyers de réinfection permanents. **Il est à craindre que cette stratégie donne des résultats assez désastreux sous le climat bordelais, beaucoup plus favorable au mildiou que celui de Rome, où ont été réalisés ces deux essais.**

De plus, cette stratégie présente un inconvénient potentiel, qui est rappelé par l'auteur : en situation curative, les viticulteurs sont amenés à passer à une cadence de traitement hebdomadaire, le temps de reprendre le contrôle de la situation (ce qui risque d'être long pendant les étés bordelais, où les pluies sont plus fréquentes qu'à Rome). Cela alors que dans les stratégies préventives classiques, la cadence moyenne de traitements est plutôt d'un traitement toutes les deux semaines (et que les renouvellements de traitements inutiles peuvent être supprimés en utilisant un OAD comme Décitrait ou Movidia). **Ce retour à des cadences hebdomadaires en situation curative risque donc de faire perdre très rapidement les économies de traitement réalisées en retardant le premier traitement, comme le montrent les résultats de la stratégie de traitement F=1 de la figure 6.2.** Systématiser une protection aussi tardive risque aussi de concentrer les usages sur les rares molécules qui supportent un peu mieux un positionnement curatif. Cela accélérerait probablement des phénomènes de résistances aux traitements, particulièrement préoccupants pour cette maladie.

Notons enfin que, sur ces deux d'années d'expérimentation, les contaminations secondaires de mildiou se sont étalées sur une période de plus de 100 jours, mais avec des interruptions prolongées :

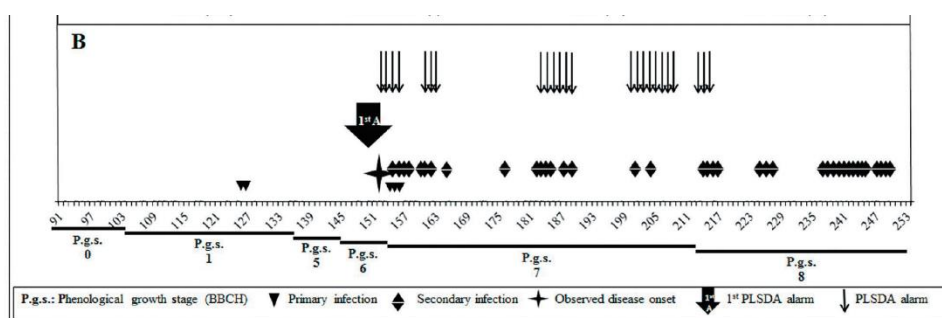


Fig. 1: Relationship among meteorological data (A), pathogen epidemiological parameters (B), host phenological growth stage (B) and partial least squares discriminant analysis (PLSDA) model alarm (B) for the first year of analysis (2009).

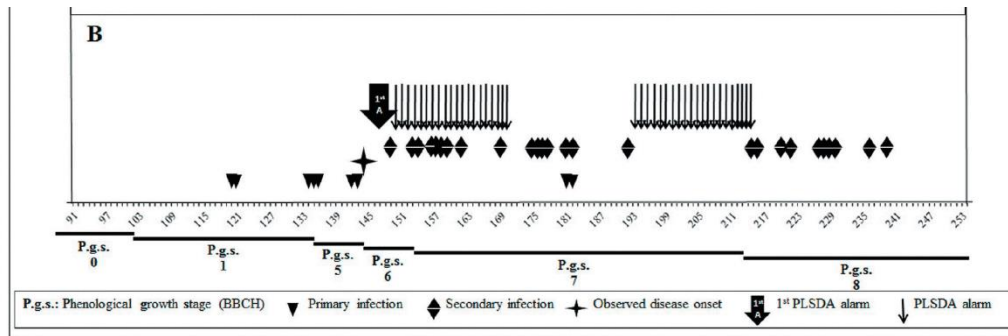


Fig. 2: Relationship among meteorological data (A), pathogen epidemiological parameters (B), host phenological growth stage (B) and partial least squares discriminant analysis (PLSDA) model alarm (B) for the second year of analysis (2010).

Fig 1B et 2B de Menesatti et al : Les contaminations secondaires de mildiou sont représentées par les losanges noirs. Les dates sont exprimées en jours calendaires (150 = 30 mai, 250 = 7 septembre).

Dans ces contextes climatiques, il est probable que les approches classiques, basées sur le raisonnement de chaque traitement (type Decitrait ou Movida) auraient obtenu une excellente efficacité, avec moins de traitements que la stratégie proposée dans la thèse de M. Chen.

Pour la proposition de méthodes alternatives aux raisonnements préventifs actuels, il est par ailleurs regrettable que la thèse ne prenne pas en compte les retours d'expérience d'une tentative précédente de l'INRAE, le Processus Opérationnel de Décision (POD) Mildium³. Ce POD présentait certaines similitudes avec la démarche proposée dans cette thèse, en moins radical, dans la mesure où il s'agissait aussi d'une stratégie de protection basée sur une observation plus fine des symptômes sur le terrain, mais en conservant au moins 2 traitements systématiques contre le mildiou à des stades-clé. Cette stratégie n'a pas réussi à se répandre sur le terrain malgré des années de tests dans le vignoble, y compris dans le Bordelais⁴, il aurait été intéressant d'en analyser les raisons, pour s'assurer que la stratégie proposée dans cette thèse ne risque pas de rencontrer les mêmes écueils.

Dans le Chapitre 7, l'auteur teste plusieurs modèles statistiques et approches d'apprentissage automatique, afin de prévoir la probabilité d'infestation grave de mildiou, en fonction de la date d'apparition des symptômes et/ou des cumuls mensuels de pluviométries et températures moyennes. Il est assez intrigant de noter que les modèles basés seulement sur les dates d'apparition ont une précision du même ordre de grandeur que ceux qui utilisent les données météorologiques. Mais, là encore, la nature probabiliste des modèles, et l'absence d'analyse année par année, empêchent de rechercher les causes de cette divergence majeure avec les modèles épidémiologiques classiques, pour lesquels le climat est essentiel, et qui utilisent des effets de seuils déterminants pour les températures et pluviométries journalières, non pris en compte ici. D'autre part, on note que là encore, les données utilisées étant les cumuls mensuels de l'année en cours, cette méthode ne peut être employée qu'à titre rétrospectif, et non pour de l'aide à la décision en temps réel.

A partir de ces modèles prédictifs de l'infestation de fin de cycle, l'auteur propose ensuite une nouvelle stratégie de protection dérivée de la précédente, dans laquelle la protection curative évaluée aux chapitres 5 et 6 n'est appliquée qu'aux parcelles où les symptômes sont apparus assez tôt pour laisser présager des dégâts importants en fin de cycle. Là aussi, la réduction théorique moyenne du nombre de traitements est de l'ordre de 50%.

Cette nouvelle stratégie hérite donc des incertitudes que nous avons évoquées au chapitre 6, pour les parcelles qui seront traitées. Il s’y ajoute un risque supplémentaire : le choix des parcelles qui seront laissées sans traitement est déterminé par le « bas » des courbes de survie (c’est-à-dire les dernières parcelles sur lesquelles les symptômes sont apparues) : or nous avons vu au chapitre 4 que c’est le domaine où les différences entre modèles de survie (et donc les incertitudes) sont les plus élevées.

Philippe Stoop

¹ http://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/BSV_VIGNE_Nord_Aquitaine_22_BILAN_20191220_cle8b445d.pdf

² <https://www.semanticscholar.org/paper/Multivariate-forecasting-model-to-optimize-of-grape-Menesatti-Antonucci/963623357b10189f89dc72dfd0e627324f2226ea>

³ http://www.vignevin-charentes.com/fileadmin/users/charente/Protection_du_vignoble/Experimentations/Fichiers/POD_Mildium_d_escrptif.pdf

⁴ http://www.vignevin-charentes.com/fileadmin/users/charente/Protection_du_vignoble/Experimentations/Fichiers/POD_Mildium_d_escrptif.pdf